



SUGHRUE MION ZINN MACPEAK & SEAS, PLLC

75
2100 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, DC 20037-3213
T 202.293.7060
F 202.293.7860
www.sughrue.com

October 10, 2001

BOX PATENT APPLICATION
Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

jc879 U.S. PTO
09/972960
10/10/01

Re: Application of Hideo MIURA and Shinichiro SONODA
LIGHT WAVELENGTH CONVERTING MODULE
Assignee: FUJI PHOTO FILM CO., LTD.
Our Ref. Q66637

Dear Sir:

Attached hereto is the application identified above including thirty-four (34) sheets of the specification, including the claims and abstract, six (6) sheets of drawings, Information Disclosure Statement and PTO 1449 form with reference. **The executed Declaration and Power of Attorney and Assignment will be submitted at a later date.**

The Government filing fee is calculated as follows:

Total claims	10	-	20	=	x	\$18.00	=	\$0.00
Independent claims	1	-	3	=	x	\$84.00	=	\$0.00
Base Fee								\$740.00
TOTAL FEE								\$740.00

A check for the statutory filing fee of \$740.00 is attached. You are also directed and authorized to charge or credit any difference or overpayment to Deposit Account No. 19-4880. The Commissioner is hereby authorized to charge any fees under 37 C.F.R. §§ 1.16 and 1.17 and any petitions for extension of time under 37 C.F.R. § 1.136 which may be required during the entire pendency of the application to Deposit Account No. 19-4880. A duplicate copy of this transmittal letter is attached.

Priority is claimed from October 10, 2000 based on Japanese Patent Application No. 2000-309846. The priority document is enclosed herewith.

Respectfully submitted,
SUGHRUE, MION, ZINN,
MACPEAK & SEAS, PLLC
Attorneys for Applicant
By:
Darryl Mexic
Registration No. 23,063

DM/ob/plr

DECLARATION

I, Manami Enomoto, a staff member of TAIYO, NAKAJIMA & KATO, Seventh Floor, HK-Shinjuku Bldg., 3-17, Shinjuku 4- chome, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0022, Japan, do hereby declare that I am well acquainted with the English and Japanese languages and I hereby certify that, to the best of my knowledge and belief, the following is a true and correct translation made by me into the English language of the documents in respect of Japanese Patent Application No. 2000-309846 that was filed on 10th October 2000 in the name of FUJI PHOTO FILM CO., LTD..

Dated this 1st day of October, 2003

m. Enomoto

Manami Enomoto

[DOCUMENT NAME] Application for Patent
[REFERENCE NUMBER] FSP-00595
[FILING DATE] 10th October 2000
[CONSIGNEE] The Director General of the Patent Office
[I. P. C.] G02F 1/37
[INVENTOR]
[ADDRESS OR RESIDENCE] c/o FUJI PHOTO FILM CO., LTD. of
No. 798 Miyanodai, Kaisei-machi,
Ashigarakami-gun, Kanagawa, Japan
[NAME] Hideo Miura
[APPLICANT]
[I. D. NUMBER] 000005201
[NAME] FUJI PHOTO FILM CO., LTD.
[AGENT]
[I. D. NUMBER] 100079049
[ATTORNEY]
[NAME] Jun Nakajima
[TELEPHONE NUMBER] 03-3357-5171
[APPOINTED AGENT]
[I. D. NUMBER] 100084995
[ATTORNEY]
[NAME] Kazuyoshi Kato
[TELEPHONE NUMBER] 03-3357-5171
[APPOINTED AGENT]
[I. D. NUMBER] 100085279
[ATTORNEY]
[NAME] Katsuichi Nishimoto
[TELEPHONE NUMBER] 03-3357-5171
[APPOINTED AGENT]
[I. D. NUMBER] 100099025
[ATTORNEY]
[NAME] Koji Fukuda
[TELEPHONE NUMBER] 03-3357-5171
[INDICATION OF FEE]
[I. D. NUMBER IN ADVANCE PAYMENT REGISTER] 006839
[AMOUNT OF FEE] 21000
[LIST OF FILED DOCUMENT]

[DOCUMENT]	Specification	1
[DOCUMENT]	Drawings	1
[DOCUMENT]	Abstract of the Disclosure	1
[GENERAL POWER OF ATTORNEY NUMBER]		9800120

[DOCUMENT NAME] SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION]

LIGHT WAVELENGTH CONVERTING MODULE

[CLAIMS]

[Claim 1] A light wavelength converting module comprising:

- a semiconductor laser from which a fundamental wave exits;
- a light wavelength converting element which is optically coupled to the semiconductor laser, and which converts a wavelength of the fundamental wave which has entered from the semiconductor laser;
- a wavelength plate disposed at a light exiting side of the light wavelength converting element; and
- removing means, disposed between the wavelength plate and the light wavelength converting element, for removing the fundamental wave from light incident on the removing means.

[Claim 2] A light wavelength converting module according to claim 1, wherein the removing means is an IR cutting filter.

[Claim 3] A light wavelength converting module according to claim 1 or 2, wherein the light wavelength converting element is directly joined to the semiconductor laser.

[Claim 4] A light wavelength converting module according to any of claims 1-3, wherein the wavelength plate is one of a half-wave plate and a quarter-wave plate, with respect to a wave whose wavelength is converted.

[Claim 5] A light wavelength converting module according to any of claims 1-4, wherein the wavelength plate is disposed substantially orthogonal to an optical axis.

[Claim 6] A light wavelength converting module according to any of claims 1-5, wherein a beam splitter is provided at a light exiting side of the wavelength plate.

[Claim 7] A light wavelength converting module according to any of claims 1-6, wherein a beam splitter and a photodiode are disposed at a light exiting side of the wavelength plate, and the beam splitter and the photodiode are shielded from light.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a light wavelength converting module, and in particular, to a light wavelength converting module which, by using a light wavelength converting element, converts the wavelength of a fundamental wave which is emitted from a semiconductor laser.

[0002]

[Prior Art]

Conventionally, in a case in which a semiconductor laser is optically coupled to a light wavelength converting element, and the wave, which exits from the light wavelength converting element and whose wavelength has been converted such as a second harmonic, is used as recording light of a light scanning/recording device such as a laser printer, in

order to make the wave whose wavelength has been converted match a scanning optical system provided at the light scanning/recording device, the plane of polarization of the wave whose wavelength has been converted must be rotated by 90°.

[0003]

In order to rotate by 90° the plane of polarization of the wave whose wavelength has been converted, a half-wave plate, which imparts an optical path difference of 1/2 of the wavelength to the two polarized light components which are orthogonal, is disposed at the exiting end surface side of the light wavelength converting element. The half-wave plate is formed from a white mica plate, a quartz crystal plate or the like which is birefringent. When the orientation of the long axis of the elliptically polarized light which is incident on the half-wave plate is θ from the main axis of the wavelength plate, the orientation of the long axis of the elliptically polarized light which exits from the half-wave plate is $-\theta$. For example, if $\theta = 45^\circ$, the elliptically polarized light exiting from the half-wave plate and the elliptically polarized light incident thereon are orthogonal to one another. Namely, although the elliptical shapes of the polarized lights are the same, the directions of the long axes thereof are orthogonal to each other, and the directions of rotation of the polarized lights are inverted.

[0004]

[Problems to be Solved by the Invention]

However, the wave whose wavelength has been converted and the fundamental wave whose wavelength has not been converted both exit from the exiting end surface of the light wavelength converting element. Further, the half-wave plate is disposed substantially orthogonal to the optical axis in order for the performances thereof to be exhibited. When

the half-wave plate is disposed at the exiting end surface side of the light wavelength converting element, a problem arises in that the fundamental wave is reflected by the half-wave plate, becomes so-called return light, again enters into the semiconductor laser, and becomes a source of noise.

[0005]

Further, tilting the half-wave plate with respect to the optical axis such that the light reflected at the half-wave plate does not become return light, has been thought of in order to overcome the aforementioned problem. However, when the half-wave plate is inclined with respect to the optical axis, the performances of the half-wave plate cannot be exhibited.

[0006]

The present invention was developed in light of the aforementioned, and an object of the present invention is to provide a light wavelength converting module which is formed to include a light wavelength converting element and a semiconductor laser which is optically coupled to the light wavelength converting element, wherein when a wavelength plate, which imparts a predetermined optical path difference to the orthogonal two polarized light components of the wave whose wavelength is converted, is provided, the generation of noise due to return light is prevented, and a wave whose wavelength is converted can be stably obtained.

[0007]

[Means for Solving the Problems]

In order to achieve the above object, the invention set forth in claim 1 is a light

wavelength converting module comprising: a semiconductor laser from which a fundamental wave exits; a light wavelength converting element which is optically coupled to the semiconductor laser, and which converts a wavelength of the fundamental wave which has entered from the semiconductor laser; a wavelength plate disposed at a light exiting side of the light wavelength converting element; and a removing means, disposed between the wavelength plate and the light wavelength converting element, for removing the fundamental wave from light incident on the removing means.

[0008]

In the first aspect of the present invention, the fundamental wave which exits from the semiconductor laser enters into the light wavelength converting element which is optically coupled to the semiconductor laser, and is wavelength converted by the light wavelength converting element. A wavelength plate is disposed at the light exiting side of the light wavelength converting element. The fundamental wave is removed from the light which exits from the light wavelength converting element, by a removing means which is disposed between the wavelength plate and the light wavelength converting element, and the light from which the fundamental wave is removed is incident on the wavelength plate. In this way, by providing the removing means, which removes the fundamental wave from the light incident thereon, between the wavelength plate and the light wavelength converting element, the fundamental wave can be prevented from being reflected by the wavelength plate and becoming return light. In this way, a wave whose wavelength has been converted can be obtained stably, without noise being generated at the semiconductor laser.

[0009]

The invention set forth in claim 2 is, in the invention set forth in claim 1, characterized in that the removing means is an IR cutting filter. By using an IR cutting filter as the removing means, the fundamental wave, which is infrared light, can be removed.

[0010]

The invention set forth in claim 3 is, in the invention set forth in claim 1 or 2, characterized in that the light wavelength converting element is directly joined to the semiconductor laser. By directly joining the light wavelength converting element to the semiconductor laser, the device can be made compact.

[0011]

The invention set forth in claim 4 is, in the invention set forth in any of claims 1-3, characterized in that the wavelength plate is one of a half-wave plate and a quarter-wave plate, with respect to a wave whose wavelength is converted. In a case in which a half-wave plate with respect to the wave whose wavelength is converted is used as the wavelength plate, the plane of polarization of the incident light can be rotated by 90°. In a case in which a wavelength plate of 1/4 of the wavelength with respect to the wave whose wavelength is converted is used as the wavelength plate, the incident light which is linearly polarized light can be changed into circularly polarized light.

[0012]

The invention set forth in claim 5 is, in the invention set forth in any of claims 1-4, characterized in that the wavelength plate is disposed substantially orthogonal to an optical axis. In order to effectively exhibit the performances of the wavelength plate, the

wavelength plate is disposed substantially orthogonal to the optical axis, and preferably, so as to form an angle of 0.5° or less with a plane which is orthogonal to the optical axis. If the wavelength plate is tilted any more than that with respect to the optical axis, the extinction ratio of the light wavelength converting module deteriorates.

[0013]

The invention set forth in claim 6 is, in the invention set forth in any of claims 1-5, characterized in that a beam splitter is provided at a light exiting side of the wavelength plate.

[0014]

The invention set forth in claim 7 is, in the invention set forth in any of claims 1-6, characterized in that a beam splitter and a photodiode are disposed at a light exiting side of the wavelength plate, and the beam splitter and the photodiode are shielded from light. The beam splitter and the photodiode are disposed at the light exiting side of the wavelength plate and are shielded from light, so that scattered light is not incident on the photodiode.

[0015]

[Embodiments]

Hereinafter, an embodiment of a light wavelength converting module to which the present invention is applied will be described in detail with reference to the drawings.

[0016]

As shown in Fig. 1, the light wavelength converting module relating to the present embodiment includes a semiconductor laser 10 which has an oscillation wavelength in the

infrared region, and which includes a first end surface (rearward exiting end surface) and a second end surface (forward exiting end surface) which opposes the first end surface; a mirror 12 which serves as a reflecting member and which, together with the forward exiting end surface of the semiconductor laser 10, forms an external resonator; and a waveguide-type light wavelength converting element 14 which converts the wavelength of the fundamental wave emitted from the semiconductor laser 10 and outputs a second harmonic.

[0017]

The semiconductor laser (LD) 10 is held by a mount 16 for a semiconductor laser. The light wavelength converting element 14, which is formed by a second harmonic generating element (SHG), is held by a mount 18 for a light wavelength converting element. In the state in which the semiconductor laser 10 and the light wavelength converting element 14 are held by the respective mounts, the exit portion of the semiconductor laser 10 and the waveguide portion (entrance portion) of the light wavelength converting element 14 are positioned so as to coincide with one another, so as to form an LD-SHG unit 20. The LD-SHG unit 20 is fixed on a base plate 22. The light wavelength converting element 14 is thereby directly joined to the forward exiting end surface of the semiconductor laser 10.

[0018]

The semiconductor laser 10 is a regular semiconductor laser (laser diode) having a Fabry-Perot type (FP type) unimodal spatial mode (transverse single mode). LR (low reflectance) coatings 24A, 24B with respect to light of the oscillation wavelength, are provided at the both end surfaces (cleavage surfaces) of the semiconductor laser 10. For

example, the reflectance of the LR coating 24A with respect to the fundamental wave can be 30%, and the reflectance of the LR coating 24B with respect to the fundamental wave can be 30%.

[0019]

The light wavelength converting element 14 has a substrate 26 which is formed from a crystal in which LiNbO₃, which is a ferroelectric having a non-linear optical effect, is, for example, 5 mol% doped with MgO (hereinafter, this structure will be abbreviated as MgO-LN). A periodic domain inverted structure and a channel light waveguide 30 are formed at the substrate 26. At the periodic domain inverted structure, domain inverted portions 28, at which the orientation of spontaneous polarization parallel to the Z axis is inverted, is formed at a predetermined period Λ which will be described later. The channel light waveguide 30 extends along the periodic domain inverted structure. Further, an AR (transmissive) coating 32A with respect to the fundamental wave is formed at the semiconductor laser side end surface of the light wavelength converting element 14, and an AR coating 32B with respect to the second harmonic and the fundamental wave is formed at the exiting side end surface of the light wavelength converting element 14. The method of fabricating the waveguide type light wavelength converting element 14 having a periodic domain inverted structure is disclosed in detail in, for example, Japanese Patent Application Laid-Open (JP-A) No. 10-254001.

[0020]

The forward exiting end surface of the light wavelength converting element 14 is polished at an incline, and an inclined surface is formed thereat. The inclined surface is inclined, with respect to a plane orthogonal to the direction in which the channel light

waveguide 30 extends, at at least an angle θ ($3^\circ \leq \theta$) in the direction in which the channel light waveguide 30 extends. Due to the forward exiting end surface, including the light waveguide end surface, being polished at an incline in this way, the fundamental wave can be prevented from entering again into the channel waveguide 30, and the amount of return light which returns to the semiconductor laser 10 can be decreased. Note that the forward exiting end surface of the light wavelength converting element 14 may be polished orthogonally with respect to the optical axis.

[0021]

A collimator lens 36, which makes parallel a laser beam (backward exiting light) 34R which exits from the rearward exiting end surface of the semiconductor laser 10 in a state of being scattered light, is mounted to the LD-SHG unit 20. The LD-SHG unit 20 and the collimator lens 36 are sealed airtight, together with dry air or an inert gas such as dry nitrogen, in a package 38 which serves as an airtight sealing member, and are fixed within the package 38. Any of a distributed refractive index rod lens such as a SELFOC lens (trade name), an aspherical lens, and a spherical lens may be used as the collimator lens 36.

[0022]

A window hole 40A, through which the backward exiting light 34R from the semiconductor laser 10 passes, and a window hole 40B, through which forward exiting light 62 from the light wavelength converting element 14 passes, are formed in the package 38. The window hole 40A and the window hole 40B are covered by a transparent window plate 42A and a transparent window plate 42B, respectively, such that the airtight state is maintained. Further, a wire removal portion 44, which fits together with a wire removal hole so as to keep a low melting point glass or the like in an airtight state, is formed at the

package 38. Two wires 46A, 46B, which are bound to the electrodes of the semiconductor laser 10, pass through and are pulled-out from the wire removal portion 44.

[0023]

The package 38, together with the mirror 12, is fixed on a base plate 48 with the LD-SHG unit 20 and the collimator lens 36 sealed in an airtight state. An AR coating 50 is formed on the laser beam incident side surface of the mirror 12. An HR coating 52 is formed on the surface, of the mirror 12, which is at the side opposite the incident side surface. A narrow-band bandpass filter 56 which serves as a wavelength selecting element and which is held rotatably at a holder 54, a pair of total reflection prisms 58A and 58B for bending back the optical path of the laser beam 34R by substantially 180°, a pair of total reflection prisms 58C and 58D for bending back by substantially 180° the optical path which was bent back by substantially 180° by the pair of total reflection prisms 58A and 58B, and a collective lens 60 for converging the laser beam 34R, which has been made into parallel light, on the surface of the HR coating 52 of the mirror 12, are disposed in that order between the window plate 42A of the package 38 and the mirror 12, and are fixed on the base plate 48. The HR coating 52 of the mirror 12 preferably has a reflectance of 95% with respect to the fundamental wave.

[0024]

The semiconductor laser 10 and the mirror 12 are disposed such that the resonator length (i.e., the optical length from the forward exiting end surface of the semiconductor laser 10 to the surface of the HR coating 52 of the mirror 12) of the external resonator, which is formed by the mirror 12 and the forward exiting end surface of the semiconductor laser 10, is longer than the coherent length of the fundamental wave exiting from the

semiconductor laser. The coherent length L of the fundamental wave is the intrinsic coherent distance of that laser beam, and can be calculated in accordance with the following formula, where λ is the wavelength of the laser beam and $\Delta\lambda$ is the spectral width. Because the coherent length L of the fundamental wave is generally about 100 mm, the resonator length of the external resonator can be made to be a length which, for example, exceeds 100 mm.

[0025]

$$L = \lambda^2 / 2 \pi n \Delta \lambda$$

Further, a collimator lens 64 which makes into parallel light a second harmonic 62 (including a fundamental wave 34) which exits from the forward exiting end surface of the light wavelength converting element 14, an IR cutting filter 66 which removes the infrared light components from the second harmonic 62 (including the fundamental wave 34) which has been made into parallel light, a half-wave plate 67 which rotates by 90° the polarization direction of the second harmonic 62, a half-mirror 68, and a photodiode 70 are disposed at the outer side of the window plate 42B of the package 38, and are fixed on the base plate 48. An aspherical lens which has little aberration is preferably used as the collimator lens 64. Further, the half-mirror 68 and the photodiode 70 are light-shielded, by a light shielding plate 73, from the optical system forming the external resonator, such that scattered light is not incident on the photodiode 70.

[0026]

The IR cutting filter 66 is disposed at an incline with respect to the optical axis. The half-wave plate 67 is disposed substantially orthogonal with respect to the optical axis, and preferably, so as to form an angle of no more than 0.5° with a plane which is orthogonal to

the optical axis. This is because, if the half-wave plate 67 is inclined more than 0.5° with respect to the optical axis, the extinction ratio of the light wavelength converting module deteriorates.

[0027]

As shown in Fig. 2, the base plate 48 is fixed to a setting stand 72. A Peltier element 74 is disposed between the base plate 48 and the setting stand 72. Each of the optical elements fixed to the base plate 48 are adjusted to predetermined temperatures by this Peltier element 74. The respective optical elements fixed to the base plate 48 are, together with the base plate 48 and the Peltier element 74, covered by a cover 75 for dustproofing whose laser beam exiting portion is transparent.

[0028]

A knife edge 76, which serves as a light shielding plate for beam reshaping, is disposed and fixed, on the setting stand 72, in a vicinity of the position of convergence of the second harmonic 62. As will be described later, the second harmonic 62, which exits after propagating through the channel light waveguide 30 of the light wavelength converting element 14 in a first-order mode, has a side lobe at a portion which is beneath, in the vertical direction (the direction of thickness of the substrate 26), the setting surface of the setting stand 72. However, the knife edge 76 is disposed so as to cut this side lobe portion. A second harmonic 62G, which is obtained by the side lobe being cut by the knife edge 76, is a Gaussian beam whose light intensity distribution within the beam cross-section is a substantially Gaussian distribution. Note that, in the present embodiment, the knife edge 76 is disposed in a vicinity of the position of convergence of the second harmonic 62. However, the knife edge 76 may be disposed so as to be fit tightly to or to be

adjacent to the forward exiting end surface of the light wavelength converting element 14.

[0029]

As shown in Fig. 3, the semiconductor laser 10 is connected to a driving circuit 78 via the wires 46A, 46B which are pulled-out to the exterior of the cover 75 for dustproofing. The schematic structure of the driving circuit 78 is shown in Fig. 4. The driving circuit 78 is formed from a DC power source circuit 80 having an automatic power control mechanism (APC), an AC power source 84, and a bias T 88. The bias T is formed from a coil 82 and a capacitor 86. A high frequency wave, which has been emitted from the AC power source 84 and has passed through the capacitor 86, is superimposed on the DC power source component, which has been emitted from the DC power source circuit 80 and has passed through the coil 82, and the current on which the high frequency wave has been superimposed is applied to the semiconductor laser 10. In order to reduce the noise of the second harmonic which is outputted, the frequency of the high frequency wave which is superimposed is preferably 300 to 400 MHz, and the degree of modulation is preferably 30 to 70%.

[0030]

Two wires 71A, 71B are bonded to the electrodes of the photodiode 70, and are pulled-out to the exterior of the cover 75 for dustproofing. The photodiode 70 is connected, via the wires 71A, 71B which have been pulled-out to the exterior of the cover 75 for dustproofing, to the DC power source circuit 80 which is equipped with the APC. The amount of current which is applied to the semiconductor laser 10 is controlled by the APC such that the light output of the second harmonic 62 is a predetermined value. Further, the Peltier element 74 is connected to a temperature controller 90. A thermistor (not shown),

for adjusting the temperature within the device, is provided at the interior of the device which is covered by the cover 75 for dustproofing. This thermistor as well is connected to the temperature controller 90. On the basis of the output of the thermistor, the temperature controller 90 controls the Peltier element 74 such that the interior of the device is maintained in a temperature range at which the optical system does not freeze in the usage environment. (For example, if the usage environment temperature is 30°, the temperature range at which the interior of the device is maintained is 30° or more.)

[0031]

Next, operation of the light wavelength converting module will be explained.

[0032]

The laser beam 34R (the backward exiting light), which is emitted from the semiconductor laser 10 toward the rear and not toward the light wavelength converting element 14, is made into parallel light by the collimator lens 36. The laser beam 34R which has been made into parallel light passes through the narrow-band bandpass filter 56. Thereafter, the optical path is bent back 180° by the pair of total reflection prisms 58A and 58B, and is again bent back by 180° by the other pair of total reflection prisms 58C and 58D. The laser beam 34R is then collected by the collective lens 60, and is converged on the mirror 12. The laser beam 34R which is reflected at the mirror 12 follows back the optical path until then, and is fed-back to the semiconductor laser 10. Namely, in this device, the external resonator of the semiconductor laser 10 is formed by the mirror 12 and the forward end surface of the semiconductor laser 10.

[0033]

The wavelength of the laser beam 34R which is fed-back is selected by the narrow-band bandpass filter 56 which is disposed in the external resonator. The semiconductor laser 10 oscillates at the selected wavelength, and the selected wavelength changes in accordance with the rotational position of the narrow-band bandpass filter 56. Thus, by appropriately rotating the narrow-band bandpass filter 56, the oscillation wavelength of the semiconductor laser 10 is selected to be and can be locked at a wavelength which phase-matches the period of the domain inverted portions 28 of the light wavelength converting element 14.

[0034]

On the other hand, the laser beam 34, which is locked to a predetermined wavelength and has been emitted from the forward side of the semiconductor laser 10, enters into the channel light waveguide 30. The laser beam 34 is waveguided through the channel light waveguide 30 in the TE mode, and is phase-matched (so-called pseudo phase matching) at the periodic domain inverted region thereof, and is converted into the second harmonic 62 whose wavelength is 1/2 (e.g., when the central wavelength of the laser beam 34 is 950 nm, the wavelength of the second harmonic 62 is 475 nm). This second harmonic 62 also propagates through the channel light waveguide 30 in the guided wave mode, and exits from the light waveguide end surface.

[0035]

From research conducted by the present inventors and others, it has been learned that the overlapping integral, with the fundamental wave, of a second harmonic which propagates through a light waveguide in a first-order mode, is greater than that of a second harmonic which propagates through a light waveguide in a zero-order mode. Namely, the

wavelength converting efficiency is better when a fundamental wave and a second harmonic which propagates in a first-order mode are phase-matched. Thus, in the present embodiment, the period Λ of the periodic domain inverted structure is set such that the second harmonic 62, which propagates through the channel light waveguide 30 of the light wavelength converting element 14 in the first-order mode, and the fundamental wave 34 are pseudo phase matched. Specifically, given that the effective refractive index of the light waveguide with respect to the fundamental wave is n_ω , the effective refractive index of the light waveguide with respect to the second harmonic is $n_{2\omega}$, and the wavelength of the fundamental wave is λ_F , the period Λ is set such that the following formula is satisfied.

[0036]

$$n_{2\omega} - n_\omega = \lambda_F / 2\Lambda$$

Further, the laser beam 34 whose wavelength is not converted also exits from the light waveguide end surface in a state of being scattered light. The laser beam 34, together with the second harmonic 62, are made into parallel light by the collimator lens 64. After the light which exits from the light waveguide end surface of the light wavelength converting element 14 is made into parallel light by the collimator lens 64, the fundamental wave 34 is removed by the IR cutting filter 66 such that the second harmonic 62 is separated, and the polarization direction of the second harmonic 62 is rotated 90° by the half-wave plate 67, and the second harmonic 62 exits. One portion of the second harmonic 62 which has exited is reflected by the half-mirror 68 and detected by the photodiode 70. Power control of the laser beam is carried out on the basis of these results of detection.

[0037]

As described above, in the light wavelength converting module relating to the

present embodiment, the polarization direction of the second harmonic which exits from the light wavelength converting element is the direction parallel to the setting stand. However, by using the half-wave plate for polarization control, a second harmonic which is polarized in a direction orthogonal to the setting stand can be obtained. At this time, the half-wave plate is disposed between the light wavelength converting element and the IR cutting filter. Thus, the fundamental wave is removed from the light which reaches the half-wave plate. Accordingly, the fundamental wave is not reflected by the half-wave plate and does not become return light, noise due to return light returning to the semiconductor laser is not generated, and a wave whose wavelength is converted can be obtained stably.

[0038]

Further, at the light wavelength converting module relating to the present embodiment, the semiconductor laser and the light wavelength converting element are directly joined. Thus, with a simple structure which does not utilize a solid state laser crystal, the fundamental wave exiting from the semiconductor laser can be directly wavelength-converted by the light wavelength converting element. The degrees of freedom in selecting the oscillation wavelength increase, and high speed modulation can be carried out.

[0039]

At the light wavelength converting module of the present embodiment, because only a small number of parts, including the semiconductor laser and the light wavelength converting element, are sealed airtight within the package, fabrication is easy. Moreover, because the number of parts which are sealed airtight is few, deterioration over time and the like of the parts which are sealed due to the gasses generated from the respective parts

can be prevented.

[0040]

Further, the light wavelength converting module of the present embodiment utilizes a mirror in which an AR coating is formed at the surface at the laser beam incident side and an HR coating is formed at the surface at the side opposite the incident side surface. Thus, the beam spot diameter at the mirror surface becomes large, it is difficult for dust and dirt to adhere to the mirror surface, and a deterioration in the reflectance of the mirror due to the adhering of dust and dirt can be prevented.

[0041]

Moreover, in the light wavelength converting module relating to the present embodiment, the laser light emitted from the semiconductor laser is locked to a predetermined wavelength. Thus, a wave whose wavelength has been converted can be outputted stably. Further, at the time of locking the wavelength, by making the resonator length of the external resonator longer than the coherent length of the fundamental wave, interference due to return light is eliminated, and the linearity of the IL characteristic can be maintained. In a structure provided with an external resonator, lights of different optical path lengths, such as return light from the external resonator, are combined and become the exiting light. However, because lights of different optical path lengths interfere with one another, when the light interfering state changes, there are cases in which the linearity of the IL characteristic deteriorates. For example, when the current applied to the semiconductor laser is increased, the semiconductor laser itself generates heat, and the refractive index and the length of the semiconductor laser change. Thus, the oscillation wavelength of the semiconductor laser changes. Such a change in the oscillation

wavelength changes the light interfering state, and the linearity of the IL characteristic of a wavelength stabilized laser deteriorates. However, as in the present embodiment, when the resonator length of the external resonator becomes longer than the coherent length of the fundamental wave, even if the resonator length of the external resonator varies somewhat, there is no great effect on the oscillation wavelength of the semiconductor laser. Further, in the present embodiment, by sealing airtight a small number of parts including the semiconductor laser and the light wavelength converting element, changes in the humidity and the atmospheric pressure of the usage environment can be sufficiently addressed. Thus, in the light wavelength converting module of the present embodiment, a wave whose wavelength has been converted can be stably output. Note that, in the present embodiment, although the resonator length of the external resonator is long as described above, the light wavelength converting module is contrived to be made more compact by the external resonator being made to be a structure in which the optical path is bent back.

[0042]

Further, because the light wavelength converting module of the present embodiment uses a transverse single mode semiconductor laser, the problem of transverse mode hopping does not occur.

[0043]

In the light wavelength converting module of the present embodiment, the obtained second harmonic is a Gaussian beam. Thus, the recording light can be narrowed to a smaller spot, and can be suitably used as the recording light source of a light scanning/recording device.

[0044]

Further, in the light wavelength converting module of the present embodiment, the semiconductor laser is modulated and driven by a high frequency wave being superimposed on the driving current. Thus, longitudinal mode competition is suppressed. When the transmission band of the wavelength selecting element is set to be wider than the Fabry-Perot mode interval between both cleavage surfaces of the semiconductor laser, the semiconductor laser oscillates in a plurality of longitudinal modes. In this state, even if the driving current of the semiconductor laser is fixed, a phenomenon known as longitudinal mode competition, in which the rate of the power distribution to each longitudinal mode varies depending on the time, occurs. However, in the light wavelength converting module of the present embodiment, the semiconductor laser is modulated and driven by the high frequency wave being superimposed on the driving current. Thus, the driving current does not accumulate at a region at which longitudinal mode competition occurs.

[0045]

In the above-described embodiment, an example is described in which total reflection prisms are used to bend back the optical path of the external resonator. However, instead of total reflection prisms, total reflection mirrors may be used. In this case, the total reflection mirrors are disposed such that the reflecting surfaces thereof correspond to the positions of the inclined surfaces of the total reflection prisms.

[0046]

In the above-described embodiment, an example is described in which a half-wave plate is used as the wavelength plate. However, the type of the wavelength plate can be appropriately changed in accordance with the purpose of use of the light wavelength

converting module. For example, in a case in which it is desired to obtain circularly polarized light as the output light of the light wavelength converting module, a quarter-wave plate may be used in place of the half-wave plate. Note that, other than a half-wave plate and a quarter-wave plate, wavelength plates having various phase differences, such as an eighth-wave plate, a three-quarter-wave plate, and the like, can be obtained.

[0047]

In the above-described first and second embodiments, an example is described in which the semiconductor laser and the light wavelength converting element are joined directly. However, the semiconductor laser and the light wavelength converting element may be joined via a lens.

[0048]

[Effects of the Invention]

In accordance with the present invention, the light wavelength converting module, which is formed to include a light wavelength converting element and a semiconductor laser which is optically coupled to the light wavelength converting element, has the effect that, when a wavelength plate, which provides a predetermined optical path difference, is provided between two orthogonal polarized light components of a wave whose wavelength has been converted, the generation of noise due to return light is prevented, and a wave whose wavelength has been converted can be obtained stably.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1]

Fig. 1 is a plan view of a light wavelength converting module of an embodiment of

the present invention.

[Fig. 2]

Fig. 2 is a sectional view, taken along an optical axis, of the light wavelength converting module of the embodiment.

[Fig. 3]

Fig. 3 is a diagram for explaining wiring of the light wavelength converting module of the embodiment.

[Fig. 4]

Fig. 4 is a circuit diagram showing a driving circuit of the light wavelength converting module of the embodiment.

[Fig. 5]

Fig. 5 is a plan view of a light wavelength converting module of a second embodiment.

[Fig. 6]

Fig. 6 is a graph showing an electric current vs. light output characteristic (IL characteristic) of a wavelength stabilized laser.

[Description of the Reference Numerals]

10: semiconductor laser

12: mirror

14: light wavelength converting element

20: LD-SHG unit

26, 48: base plate

28: domain inverted portion

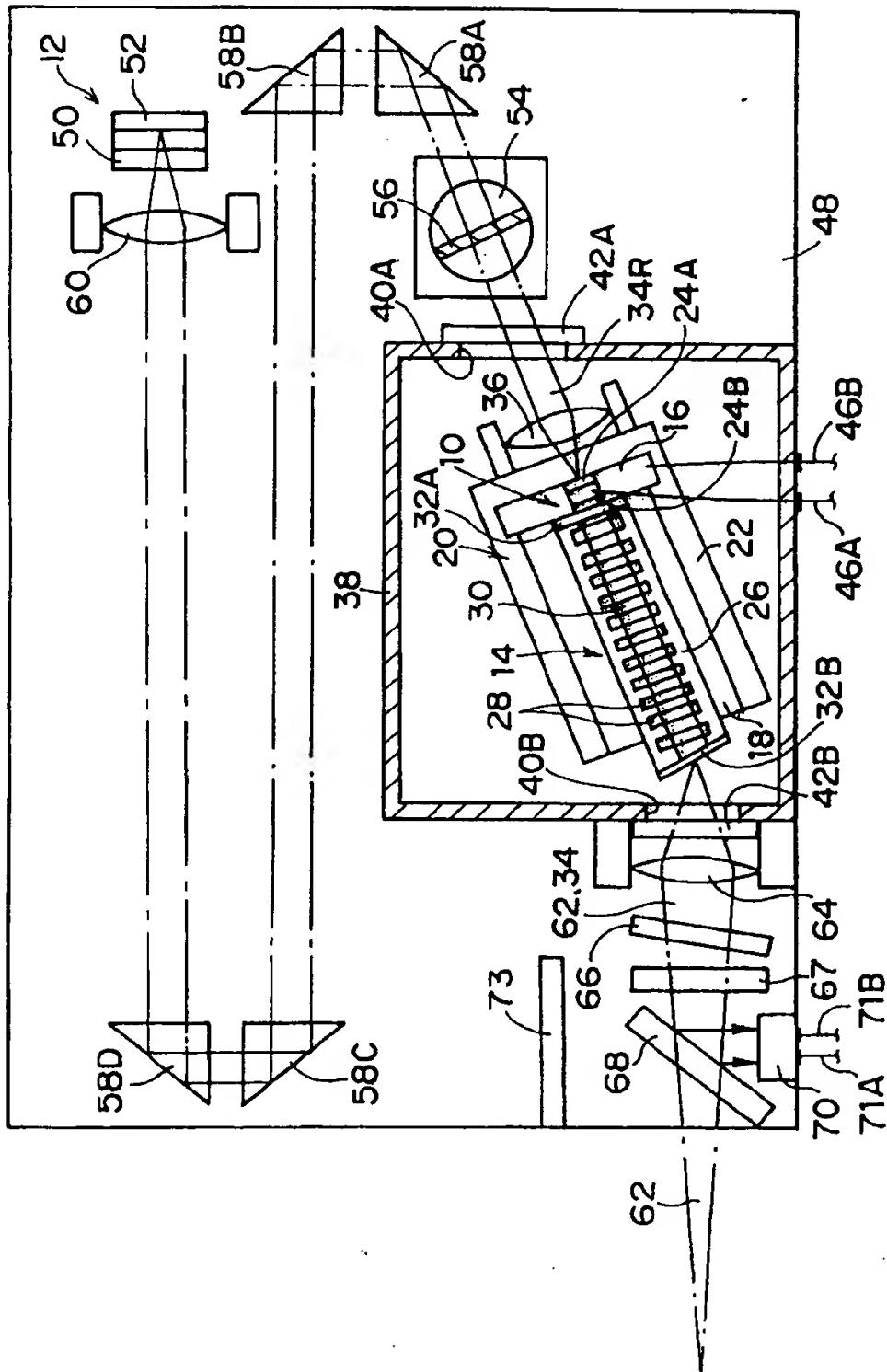
30: channel light waveguide

34R: laser beam (backward exiting light)
36, 64: collimator lens
38: package
42A, 42B: window plate
50: AR coating
52: HR coating
56: narrow-band bandpass filter
58A-D: total reflection prism
60: collective lens
62: second harmonic
66: IR cutting filter
67: half-wave plate
70: photodiode
72: setting stand
73: shielding plate
74: Peltier element
75: cover
76: knife edge
78: driving circuit

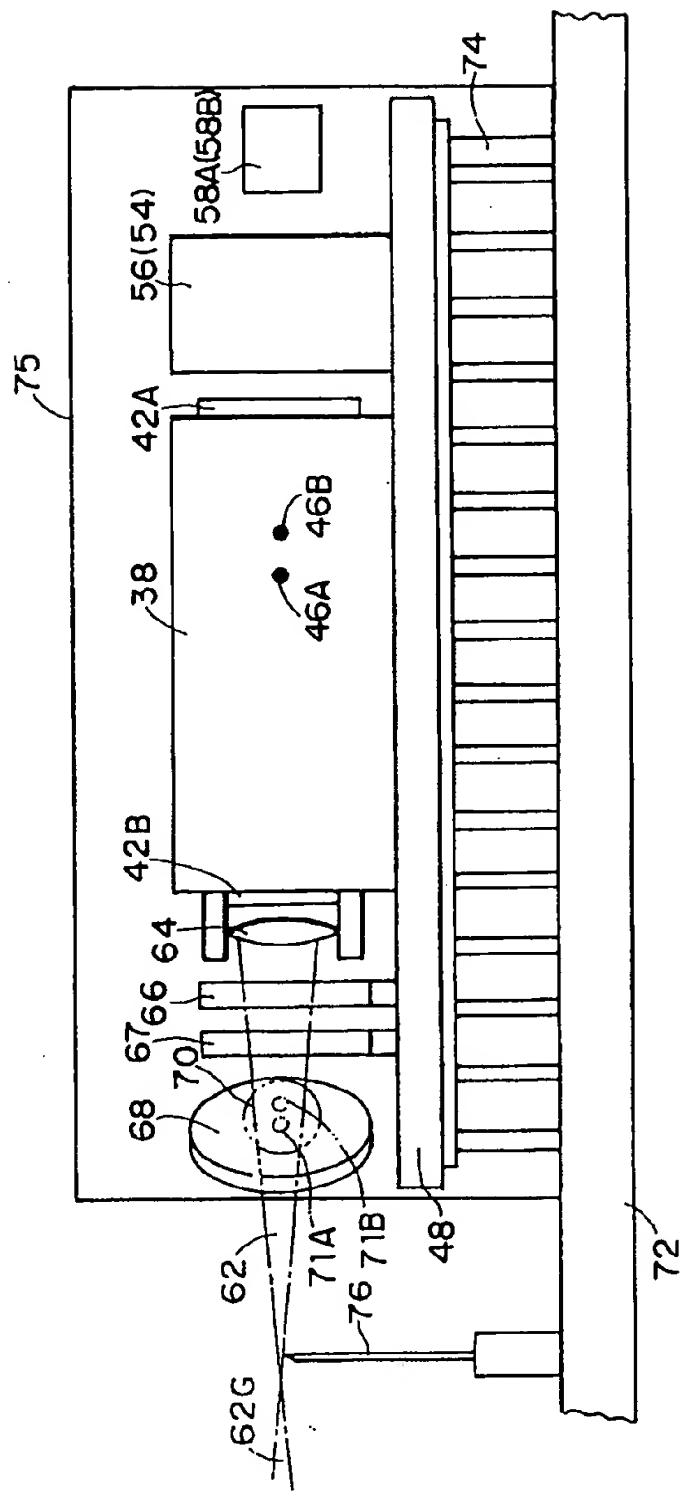
[DOCUMENT NAME]

DRAWINGS

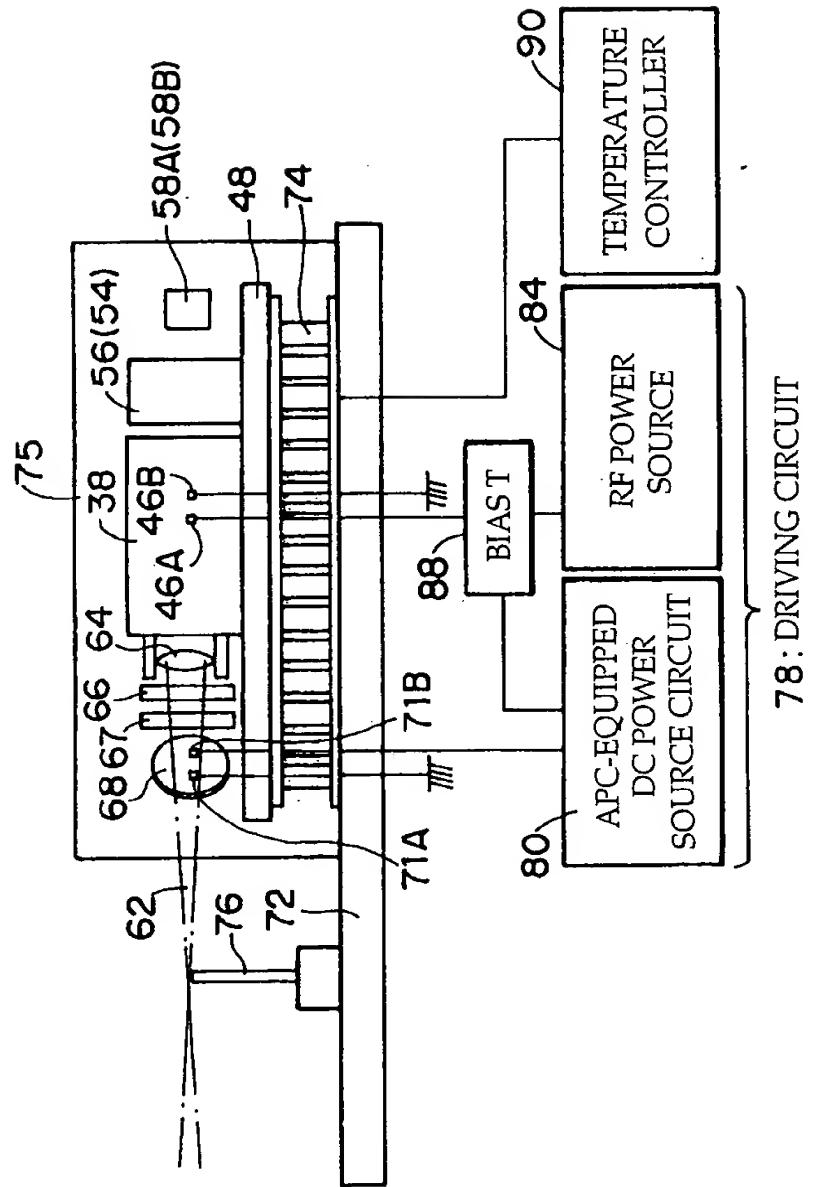
[FIG. 1]



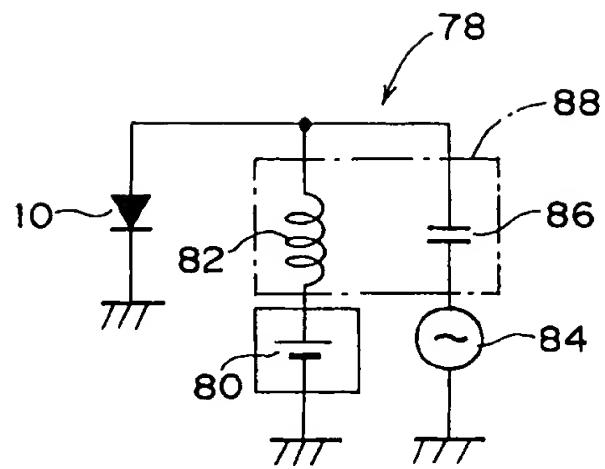
[FIG. 2]



[FIG. 3]



[FIG. 4]



[DOCUMENT NAME]

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

[SUMMARY]

[OBJECT]

To provide a light wavelength converting module which is formed to include a light wavelength converting element and a semiconductor laser which is optically coupled to the light wavelength converting element, wherein when a wavelength plate, which imparts a predetermined optical path difference to the orthogonal two polarized light components of the wave whose wavelength is converted, is provided, the generation of noise due to return light is prevented, and a wave whose wavelength is converted can be stably obtained.

[MEANS FOR SOLUTION]

A light wavelength converting module is formed by a semiconductor laser 10 from which a fundamental wave 34 exits, and a light wavelength converting element 14 which is optically coupled to the semiconductor laser 10 and which converts a wavelength of the fundamental wave 34 which enters from the semiconductor laser 10. A wavelength plate 67 is disposed at a light exiting side of the light wavelength converting element 14. An IR cutting filter 66, which serves as a removing means for removing the fundamental wave 34 from a second harmonic 62, is disposed between the wavelength plate 67 and the light wavelength converting element 14.

[SELECTED FIGURE]

Fig. 1

MIURA, et al.
LIGHT WAVELENGTH CONVERTING
MODULE
Filed: October 10, 2001
Darryl Mexic
202-293-7060
1 of 1

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載された事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年10月10日

出願番号

Application Number:

特願2000-309846

出願人

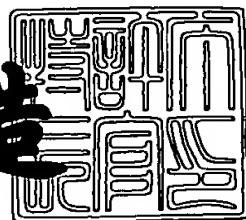
Applicant(s):

富士写真フィルム株式会社

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3078266

【書類名】 特許願

【整理番号】 FSP-00595

【提出日】 平成12年10月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/37

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フィルム株式会社内

【氏名】 三浦 栄朗

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フィルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100099025

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 浩志

【電話番号】 03-3357-5171

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9800120

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光波長変換モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基本波を出射する半導体レーザと、
該半導体レーザに光結合されると共に、前記半導体レーザから入射された基本
波を波長変換する光波長変換素子と、
該光波長変換素子の光出射側に配置された波長板と、
該波長板と前記光波長変換素子との間に配置され、入射された光から基本波を
除去する除去手段と、
を含む光波長変換モジュール。

【請求項2】 前記除去手段がIRカットフィルタである請求項1に記載の光
波長変換モジュール。

【請求項3】 前記光波長変換素子は半導体レーザに直接結合された請求項1
または2に記載の光波長変換モジュール。

【請求項4】 前記波長板は波長変換波に対する1/2波長板または1/4波
長板である請求項1～3のいずれか1項に記載の光波長変換モジュール。

【請求項5】 前記波長板を光軸に対して略垂直に配置した請求項1～4のい
ずれか1項に記載の光波長変換モジュール。

【請求項6】 前記波長板の光出射側にビームスプリッタを設けた請求項1～
5のいずれか1項に記載の光波長変換モジュール。

【請求項7】 前記波長板の光出射側にビームスプリッタ及びフォトダイオー
ドを配置し、該ビームスプリッタ及びフォトダイオードを遮光した請求項1～6
のいずれか1項に記載の光波長変換モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】

本発明は光波長変換モジュールに関し、特に、光波長変換素子を用いて半導体
レーザから出射された基本波を波長変換する光波長変換モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、光波長変換素子に半導体レーザを光結合して、光波長変換素子から出射された第2高調波等の波長変換波を、レーザプリンタ等の光走査記録装置の記録光に適用する場合においては、波長変換波を光走査記録装置に設けられた走査光学系とマッチングさせるために、波長変換波の偏光面を90°回転させる必要があった。

【0003】

波長変換波の偏光面を90°回転させるためには、光波長変換素子の出射端面側に、直交する2つの偏光成分の間に1/2波長の光路差を与える1/2波長板が配置される。1/2波長板は複屈折性の白雲母板、水晶板等で構成され、1/2波長板に入射する楕円偏光の長軸の方位が、波長板の主軸からθのとき、出射楕円偏光の長軸の方位は-θとなる。例えばθ=45°であれば、出射楕円偏光と入射楕円偏光とは互いに直交状態となる。すなわち、楕円形状は同じであるが、長軸の方向が互いに直交し、回転方向が逆転する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、光波長変換素子の出射端面からは、波長変換波と共に波長変換されなかった基本波も出射されている。また、1/2波長板はその性能を発揮させるためには、光軸に対し略垂直に配置される。このため光波長変換素子の出射端面側に1/2波長板を配置すると、この基本波が1/2波長板により反射されて、いわゆる戻り光となって半導体レーザに再入射しノイズの原因になるという問題がある。

【0005】

また、この問題を解決するために1/2波長板を光軸に対して傾斜させ、1/2波長板で反射された光が戻り光にならないようにすることが考えられるが、1/2波長板を光軸に対して傾斜させると1/2波長板の性能を発揮させることができなくなる。

【0006】

本発明は上記事情に鑑み成されたものであり、本発明の目的は、光波長変換素

子とこの光波長変換素子に光結合された半導体レーザとを含んで構成した光波長変換モジュールにおいて、波長変換波の直交する2つの偏光成分の間に所定の光路差を与える波長板を配置する場合に、戻り光によるノイズの発生を防止して安定に波長変換波を得ることができる光波長変換モジュールを提供することにある

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、基本波を出射する半導体レーザと、該半導体レーザに光結合されると共に、前記半導体レーザから入射された基本波を波長変換する光波長変換素子と、該光波長変換素子の光出射側に配置された波長板と、該波長板と前記光波長変換素子との間に配置され、入射された光から基本波を除去する除去手段と、を含んで構成されたことを特徴とする

【0008】

請求項1の発明では、半導体レーザから出射された基本波は、この半導体レーザに光結合された光波長変換素子に入射され、光波長変換素子により波長変換される。光波長変換素子の光出射側には波長板が配置されており、光波長変換素子から出射された光は、波長板と光波長変換素子との間に配置された除去手段により基本波を除去されて波長板に入射される。このように、波長板と光波長変換素子との間に入射された光から基本波を除去する除去手段を配置したことにより、基本波が波長板により反射されて戻り光となるのを防止することができる。これにより、半導体レーザにノイズが発生せず、安定に波長変換波を得ることができる。

【0009】

請求項2に記載の発明は、請求項1の発明において、前記除去手段がIRカットフィルタであることを特徴とする。除去手段としてIRカットフィルタを用いることにより、赤外光である基本波を除去することができる。

【0010】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2の発明において、前記光波長変換

素子は半導体レーザに直接結合されたことを特徴とする。光波長変換素子は半導体レーザに直接結合することにより、装置の小型化を図ることができる。

【0011】

請求項4に記載の発明は、請求項1～3のいずれかの発明において、前記波長板として波長変換波に対する $1/2$ 波長板または $1/4$ 波長板を用いたことを特徴とする。波長板として波長変換波に対する $1/2$ 波長板を用いた場合には、入射光の偏光面を 90° 回転させることができ、波長板として波長変換波に対する $1/4$ 波長板を用いた場合には、直線偏光の入射光を円偏光に変えることができる。

【0012】

請求項5に記載の発明は、請求項1～4のいずれかの発明において、前記波長板を光軸に対して略垂直に配置したことを特徴とする。波長板の性能を有効に發揮させるために、波長板は光軸に対して略垂直に、好ましくは光軸と直交する面と 0.5° 以下の角度を成すように配置する。波長板を光軸に対してこれ以上傾けると、光波長変換モジュールの消光比が劣化する。

【0013】

請求項6に記載の発明は、請求項1～5のいずれかの発明において、前記波長板の光出射側にビームスプリッタを設けたことを特徴とする。

【0014】

請求項7に記載の発明は、請求項1～6のいずれかの発明において、前記波長板の光出射側にビームスプリッタ及びフォトダイオードを配置し、該ビームスプリッタ及びフォトダイオードを遮光したことを特徴とする。散乱光がフォトダイオードに入射しないように、波長板の光出射側にビームスプリッタ及びフォトダイオードを配置し、ビームスプリッタ及びフォトダイオードを遮光する。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ、本発明を適用した光波長変換モジュールの実施の形態について詳細に説明する。

【0016】

本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、図1に示すように、第1の端面（後方出射端面）とこの第1の端面に対向する第2の端面（前方出射端面）とを備え、赤外領域の発振波長を有する半導体レーザ10と、半導体レーザ10の前方出射端面と共に外部共振器を構成する反射部材としてのミラー12と、半導体レーザ10から出射された基本波を波長変換して第2高調波を出力する導波路型の光波長変換素子14と、を備えている。

【0017】

また、半導体レーザ（LD）10は半導体レーザ用のマウント16に保持され、2次高調波発生素子（SHG）で構成された光波長変換素子14は光波長変換素子用のマウント18に保持されている。半導体レーザ10と光波長変換素子14とは、マウントに保持された状態で、半導体レーザ10の出射部分と光波長変換素子14の導波路部分（入射部分）とが一致するように位置合わせされ、LD-SHGユニット20が構成されている。このLD-SHGユニット20は、基板22上に固定されている。これにより半導体レーザ10の前方出射端面に光波長変換素子14が直接結合される。

【0018】

半導体レーザ10は、ファブリペロー型（FP型）の単峰性の空間モード（横シングルモード）を有する通常の半導体レーザ（レーザダイオード）であり、半導体レーザ10の両端面（劈開面）には、発振波長の光に対するLR（低反射率）コート24A、24Bが施されている。例えば、LRコート24Aの基本波に対する反射率を30%、LRコート24Bの基本波に対する反射率を30%とすることができる。

【0019】

光波長変換素子14は、非線形光学効果を有する強誘電体であるLiNbO₃にMgOが例えれば5mol%ドープされたもの（以下、MgO-LNと称する）の結晶からなる基板26を備えており、この基板26には、そのZ軸と平行な自発分極の向きを反転させたドメイン反転部28が後述する所定周期Λで形成された周期ドメイン反転構造と、この周期ドメイン反転構造に沿って延びるチャンネル光導波路30と、が形成されている。また、光波長変換素子14の半導体レー

ザ側端面には、基本波に対するAR（透過性）コート32Aが施され、出射側端面には第2高調波及び基本波に対するARコート32Bが施されている。なお、周期ドメイン反転構造を有する導波路型の光波長変換素子14の作製方法については、特開平10-254001号公報等に詳細に記載されている。

【0020】

また、光波長変換素子14の前方出射端面は斜めに研磨されて、チャンネル光導波路30が延びる方向に垂直な面に対して、チャンネル光導波路30が延びる方向に角度 θ ($3^\circ \leq \theta$) 以上傾斜した傾斜面が形成されている。このように光導波路端面を含む前方出射端面を斜めに研磨したことにより、基本波がチャンネル光導波路30に再入射するのを防止し、半導体レーザ10への戻り光を少なくすることができる。なお、光波長変換素子14の前方出射端面は光軸に対し垂直に研磨されていてもよい。

【0021】

LD-SHGユニット20には、半導体レーザ10の後方出射端面から発散光状態で出射したレーザビーム（後方出射光）34Rを平行光化するコリメータレンズ36が取り付けられている。LD-SHGユニット20及びコリメータレンズ36は、気密封止部材としてのパッケージ38内にドライ窒素等の不活性ガスまたはドライ空気と共に気密封止され、パッケージ38内に固定されている。なお、コリメータレンズ36としては、セルフオックレンズ（商品名）のような分布屈折率ロッドレンズ、非球面レンズ、及び球面レンズのいずれをも使用することができます。

【0022】

パッケージ38には、半導体レーザ10からの後方出射光34Rが透過する窓孔40Aと光波長変換素子14からの前方出射光62が透過する窓孔40Bとが形成され、この窓孔40Aと窓孔40Bには、それぞれ透明な窓板42Aと窓板42Bとが気密状態を保つように被着されている。また、パッケージ38には、ワイヤ取出孔に低融点ガラス等を気密状態で嵌合させたワイヤ取出部44が形成され、半導体レーザ10の両電極に結線された2本のワイヤ46A、46Bがワイヤ取出部44を貫通して引き出されている。

【0023】

パッケージ38は、LD-SHGユニット20とコリメータレンズ36とを気密封止した状態で、ミラー12と共に基板48上に固定されている。ミラー12は、そのレーザビーム入射側の面にはARコート50が施され、入射側の面と反対側の面にはHRコート52が施されている。パッケージ38の窓板42Aとミラー12との間には、ホルダー54に回転可能に保持された波長選択素子としての狭帯域バンドパスフィルタ56と、レーザビーム34Rの光路を略180°折り曲げるための一対の全反射プリズム58A及び58Bと、一対の全反射プリズム58A及び58Bにより略180°折り曲げられた光路を再度略180°折り曲げるための一対の全反射プリズム58C及び58Dと、平行光化されたレーザビーム34Rをミラー12のHRコート52の表面に収束させる集光レンズ60と、がこの順に配置され、基板48上に固定されている。ミラー12のHRコート52の基本波に対する反射率は95%とするのが好ましい。

【0024】

ミラー12と半導体レーザ10の前方出射端面とによって構成される外部共振器の共振器長（即ち、半導体レーザ10の前方出射端面からミラー12のHRコート52の表面までの光学長）が、半導体レーザから出射される基本波のコヒーレント長よりも長くなるように、半導体レーザ10とミラー12とが配置されている。基本波のコヒーレント長Lは、そのレーザビーム固有の可干渉距離であり、レーザビームの波長をλ、スペクトル幅を△λとすると、下記式に従い算出することができる。基本波のコヒーレント長Lは、一般には100mm程度であるので、外部共振器の共振器長を、例えば100mmを超える長さとすることができる。

【0025】

$$L = \lambda^2 / 2\pi n \Delta \lambda$$

また、パッケージ38の窓板42Bの外側には、光波長変換素子16の前方出射端面から出射した第2高調波62（基本波34を含む）を平行光化するコリメータレンズ64、平行光化された第2高調波62（基本波34を含む）から赤外光成分を除去するIRカットフィルタ66、第2高調波62の偏光方向を90°

回転させる1/2波長板67、ハーフミラー68、及びフォトダイオード70が配置され、基板48上に固定されている。コリメータレンズ64としては、収差の少ない非球面レンズが好ましい。また、ハーフミラー68及びフォトダイオード70は、散乱光がフォトダイオード70に入射しないように、遮光板73により外部共振器を構成する光学系から遮光されている。

【0026】

IRカットフィルタ66は、光軸に対して傾斜配置され、1/2波長板67は、光軸に対して略垂直に、好ましくは光軸と直交する面と0.5°以下の角度を成すように配置されている。これは1/2波長板67を光軸に対して0.5°を超えて傾けると、光波長変換モジュールの消光比が劣化するからである。

【0027】

図2に示すように、基板48は設置台72に固定されている。基板48と設置台72との間にはペルチェ素子74が挿入されて、基板48に固定された各光学要素がペルチェ素子74により所定温度に調節される。基板48に固定された各光学要素は、基板48及びペルチェ素子74と共に、レーザビームの出射部分が透明な防塵用カバー75により覆われている。

【0028】

また、設置台72上には、第2高調波62の収束位置の近傍に、ビーム整形用遮光板としてのナイフエッジ76が固定配置されている。後述するように、光波長変換素子14のチャンネル光導波路30を1次モードで伝搬した後に出射した第2高調波62は、設置台72の設置面に対して垂直方向（基板26の厚さ方向）下部にサイドロープを有しているが、ナイフエッジ76はこのサイドロープの部分をカットするように配置されており、サイドロープがナイフエッジ76によりカットされて、得られる第2高調波62Gは、ビーム断面内の光強度分布が略ガウス分布となったガウシアンビームとなる。なお、本実施の形態では、ナイフエッジ76を第2高調波62の収束位置の近傍に配置したが、光波長変換素子14の前方出射端面に密接または近接させて配置してもよい。

【0029】

図3に示すように、半導体レーザ10は、防塵用カバー75の外に引出された

ワイヤ46A、46Bを介して駆動回路78に接続されている。駆動回路78の概略構成を図4に示す。この駆動回路78は、自動出力制御機構（A P C）を備えた直流電源回路80、交流電源84、及びバイアスT88からなり、バイアスT88はコイル82とコンデンサ86とから構成されており、直流電源回路80から発せられてコイル82を経た直流電源成分に、交流電源84から発せられてコンデンサ86を経た高周波が重畠され、この高周波重畠された電流が半導体レーザ10に印加される。出力する第2高調波のノイズを低減するために、重畠される高周波の周波数は300～400MHzとするのが好ましく、変調度は30～70%とするのが好ましい。

【0030】

フォトダイオード70の両電極には2本のワイヤ71A、ワイヤ71Bが結線されており、ワイヤ71A、ワイヤ71Bは、防塵用カバー75の外に引出されている。フォトダイオード70は、防塵用カバー75の外に引出されたワイヤ71A、ワイヤ71Bを介してA P Cを備えた直流電源回路80に接続されている。このA P Cにより、第2高調波62の光出力が所定値となるように、半導体レーザ10に印加する電流量を制御する。また、ペルチェ素子74は、温度コントローラ90に接続されている。さらに、防塵用カバー75により覆われた装置内部には、装置内の温度を調節するためのサーミスタ（図示せず）が設けられており、このサーミスタも温度コントローラ90に接続されている。温度コントローラ90は、サーミスタの出力に基づいて、装置内部が使用環境で光学系が結露しない温度範囲（例えば、使用環境温度が30°Cであれば、30°C以上）に維持されるようにペルチェ素子74を制御する。

【0031】

次に、この光波長変換モジュールの動作について説明する。

【0032】

半導体レーザ10から光波長変換素子14に向かわずに後方側に発せられたレーザビーム34R（後方出射光）は、コリメータレンズ36によって平行光化され、平行光化されたレーザビーム34Rは狭帯域バンドパスフィルタ56を透過した後、一対の全反射プリズム58A及び58Bにより光路を略180°折り曲

げられ、もう一対の全反射プリズム58C及び58Dにより光路を再度略180°折り曲げられて、集光レンズ60により集光されてミラー12上において収束する。ミラー12で反射されたレーザビーム34Rは、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザ10にフィードバックされる。即ち、この装置では、ミラー12と半導体レーザ10の前方端面とによって半導体レーザ10の外部共振器が構成されている。

【0033】

この外部共振器の中に配された狭帯域バンドパスフィルタ56により、フィードバックされるレーザビーム34Rの波長が選択される。半導体レーザ10はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルタ56の回転位置に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルタ56を適宜回転させることにより、半導体レーザ10の発振波長を、光波長変換素子14のドメイン反転部28の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0034】

一方、所定波長にロックされ、半導体レーザ10から前方側に発せられたレーザビーム34は、チャンネル光導波路30内に入射する。このレーザビーム34はチャンネル光導波路30をTEモードで導波し、その周期ドメイン反転領域で位相整合（いわゆる疑似位相整合）して、波長が1/2、例えばレーザビーム34の中心波長が950nmとすると475nmの第2高調波62に波長変換される。この第2高調波62もチャンネル光導波路30を導波モードで伝搬し、光導波路端面から出射する。

【0035】

なお、本発明者等の研究によると、光導波路を0次モードより1次モードで伝搬する第2高調波の方が基本波との重なり積分が大きいことが分かった。即ち、1次モードで伝搬する第2高調波と基本波とを位相整合させた方が、波長変換効率が高くなる。このため、本実施の形態では、光波長変換素子14のチャンネル光導波路30を1次モードで伝搬する第2高調波62と基本波34とが擬似位相整合するように、周期ドメイン反転構造の周期Λが設定されている。具体的には、光導波路の基本波に対する実効屈折率をnω、第2高調波に対する実効屈折率

を $n_2\omega$ 、基本波の波長を λ_F としたとき、下記式を満足するように周期 Λ を設定している。

【0036】

$$n_2\omega - n\omega = \lambda_F / 2\Lambda$$

また、光導波路端面からは、波長変換されなかったレーザビーム34も発散光状態で出射し、第2高調波62と共にコリメータレンズ64によって平行光化される。光波長変換素子14の光導波路端面から出射された光は、コリメータレンズ64によって平行光化された後、IRカットフィルタ66によって基本波34が除去されて第2高調波62が分離され、1/2波長板67により第2高調波62の偏光方向が90°回転されて出射される。出射された第2高調波62は、その一部がハーフミラー68で反射されてフォトダイオード70により検出され、この検出結果に基づいてレーザビームのパワー制御が行われる。

【0037】

以上説明したように、本実施の形態に係る光波長変換モジュールでは、光波長変換素子から出射される第2高調波の偏光方向は設置台と平行な方向であるが、偏光制御用の1/2波長板を用いて、設置台と垂直な方向に偏光した第2高調波を得ることができる。このとき光波長変換素子とIRカットフィルタとの間に1/2波長板が配置されているので、1/2波長板に到達する光からは基本波が除去されている。従って、基本波が1/2波長板により反射されて戻り光となることがなく、半導体レーザに戻り光によるノイズが発生せず、安定に波長変換波を得ることができる。

【0038】

また、本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、半導体レーザと光波長変換素子とを直接結合しているので、固体レーザ結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができ、発振波長選択の自由度が大きくなり、高速変調を行うことも可能である。

【0039】

また、本実施の形態の光波長変換モジュールでは、パッケージ内に半導体レー

ザ及び光波長変換素子を含む少数部品のみを気密封止するので、作製が容易である。また、気密封止される部品点数が少ないので、各部品から発生するガスによる封止された部品の経時劣化等を防止することができる。

【0040】

また、本実施の形態の光波長変換モジュールでは、レーザビーム入射側の面にARコートが施され、入射側の面と反対側の面にHRコートが施されたミラーを用いているので、ミラー表面でのビームスポット径が大きくなつてミラー表面にゴミが付着し難くなり、ゴミの付着によりミラーの反射率が低下するのを防止することができる。

【0041】

また、本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、半導体レーザから出射されるレーザ光を所定波長にロックしているので、波長変換波を安定に出力することができる。また、波長をロックする際に、外部共振器の共振器長を基本波のコヒーレント長より長くすることにより、戻り光による干渉が無くなり、IL特性の直線性を維持することができる。外部共振器を備えた構造では、外部共振器からの戻り光など光路長が異なる光が合成されて出射光になるが、光路長の異なる光は互いに干渉するので、光の干渉状態が変化するとIL特性の直線性が悪化する場合がある。例えば、半導体レーザに印加する電流を増加すると半導体レーザ自体が発熱して半導体レーザの屈折率と長さとが変化するため半導体レーザの発振波長が変化する。このような発振波長の変化は光の干渉状態を変化させ、IL特性の直線性を悪化させるが、本実施の形態のように外部共振器の共振器長を基本波のコヒーレント長より長くすると、外部共振器の共振器長が多少変動しても半導体レーザの発振波長に大きな影響を与えないようになる。従って、本実施の形態では、半導体レーザ及び光波長変換素子を含む少数部品を気密封止することにより使用環境の温度や気圧の変化にも十分対応することができ、波長変換波を安定して出力することができる。なお、本実施の形態では、上記の通り外部共振器の共振器長が長くなるが、外部共振器は光路を折り曲げる構成として光波長変換モジュールをより小型化する工夫をしている。

【0042】

また、本実施の形態の光波長変換モジュールは、横シングルモードの半導体レーザを使用しているので、横モードホップの問題は発生しない。

【0043】

また、本実施の形態の光波長変換モジュールは、得られる第2高調波はガウシアンビームであるため、記録光をより小さなスポットに絞ることができ、光走査記録装置の記録光源として好適に使用することができる。

【0044】

また、本実施の形態の光波長変換モジュールでは、半導体レーザの駆動電流に高周波を重畠して変調駆動しているため、縦モード競合が抑制される。波長選択素子の透過帯域を、半導体レーザの両劈開面間のファブリペローモード間隔よりも広く設定すると、半導体レーザは複数の縦モードで発振するようになる。このような状態では、半導体レーザの駆動電流を固定していても、各縦モードへの電力配分率が時間によって変化する縦モード競合という現象が起きるが、本実施の形態の光波長変換モジュールでは、半導体レーザの駆動電流に高周波を重畠して変調駆動しているため、駆動電流が縦モード競合を起こす領域に留まることがなくなる。

【0045】

上記では全反射プリズムを使用して外部共振器の光路を折り返す例について説明したが、全反射プリズムに代えて全反射ミラーを使用することもできる。この場合、全反射ミラーはその反射面が全反射プリズムの斜面の位置に対応するように配置される。

【0046】

上記では波長板として1/2波長板を用いる例について説明したが、光波長変換モジュールの使用目的に応じて波長板の種類を適宜変更することができる。例えば、光波長変換モジュールの出力光として円偏光を得たい場合には、1/2波長板に代えて1/4波長板を用いればよい。なお、1/2波長板、1/4波長板の他に、1/8波長板、3/4波長板等、種々の位相差の波長板が入手可能である。

【0047】

上記では半導体レーザと光波長変換素子とを直接結合する例について説明したが、半導体レーザと光波長変換素子とはレンズを介して結合されていてもよい。

【0048】

【発明の効果】

本発明によれば、光波長変換素子とこの光波長変換素子に光結合された半導体レーザとを含んで構成した光波長変換モジュールにおいて、波長変換波の直交する2つの偏光成分の間に所定の光路差を与える波長板を配置する場合に、戻り光によるノイズの発生を防止して、安定に波長変換波を得ることができる、という効果を奏す。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施の形態の光波長変換モジュールの平面図である。

【図2】本実施の形態の光波長変換モジュールの光軸に沿った断面図である。

【図3】本実施の形態の光波長変換モジュールの配線を示す説明図である。

【図4】本実施の形態の光波長変換モジュールの駆動回路を示す回路図である。

【符号の説明】

- 10 半導体レーザ
- 12 ミラー
- 14 光波長変換素子
- 20 LD-SHGユニット
- 26、48 基板
- 28 ドメイン反転部
- 30 チャンネル光導波路
- 34R レーザビーム（後方出射光）
- 36、64 コリメータレンズ
- 38 パッケージ
- 42A、42B 窓板
- 50 ARコート
- 52 HRコート
- 56 狹帯域バンドパスフィルター

58A～D 全反射プリズム

60 集光レンズ

62 第2高調波

66 IRカットフィルタ

67 1／2波長板

70 フォトダイオード

72 設置台

73 遮光板

74 ペルチェ素子

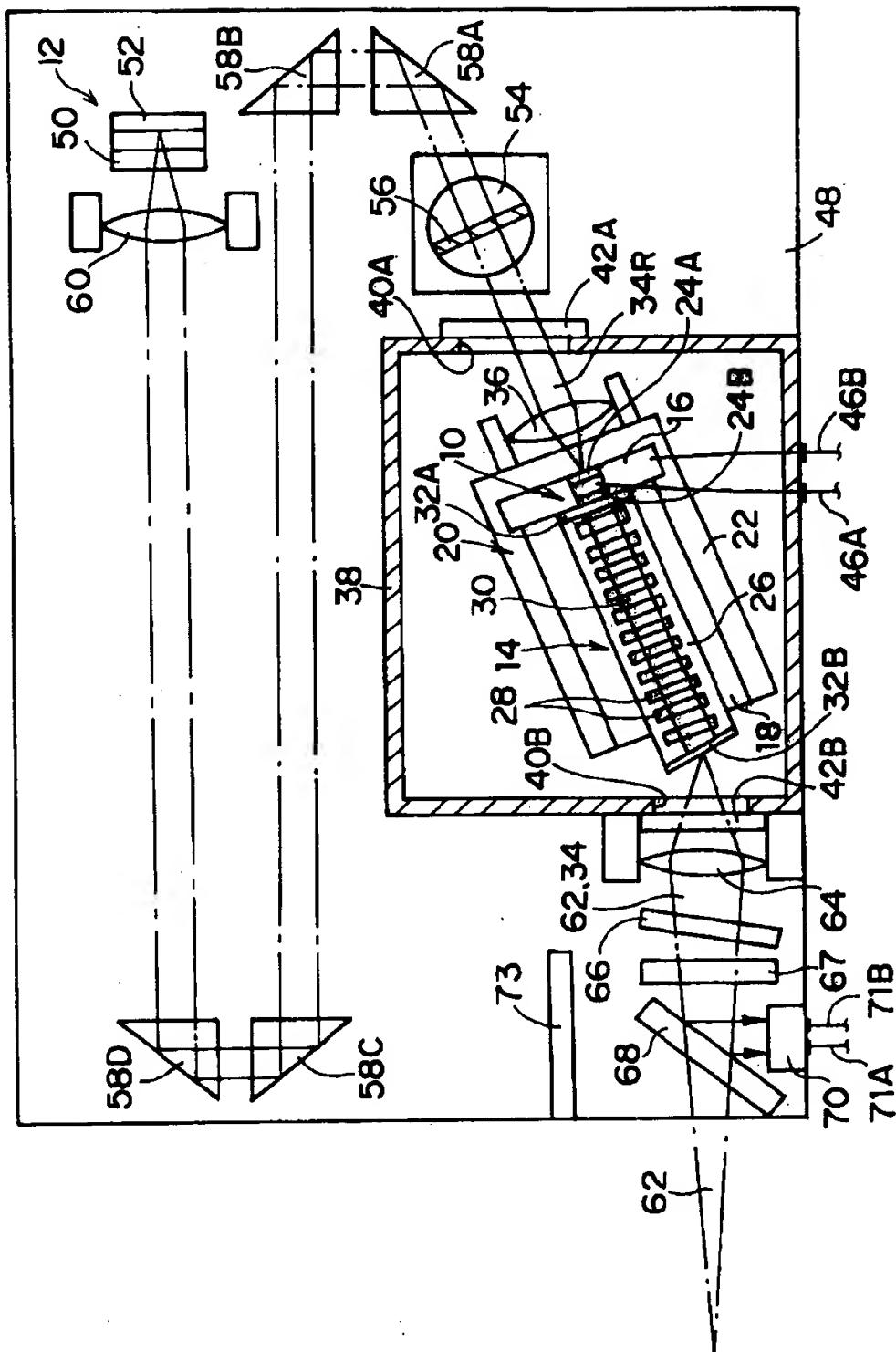
75 防塵用カバー

76 ナイフエッジ

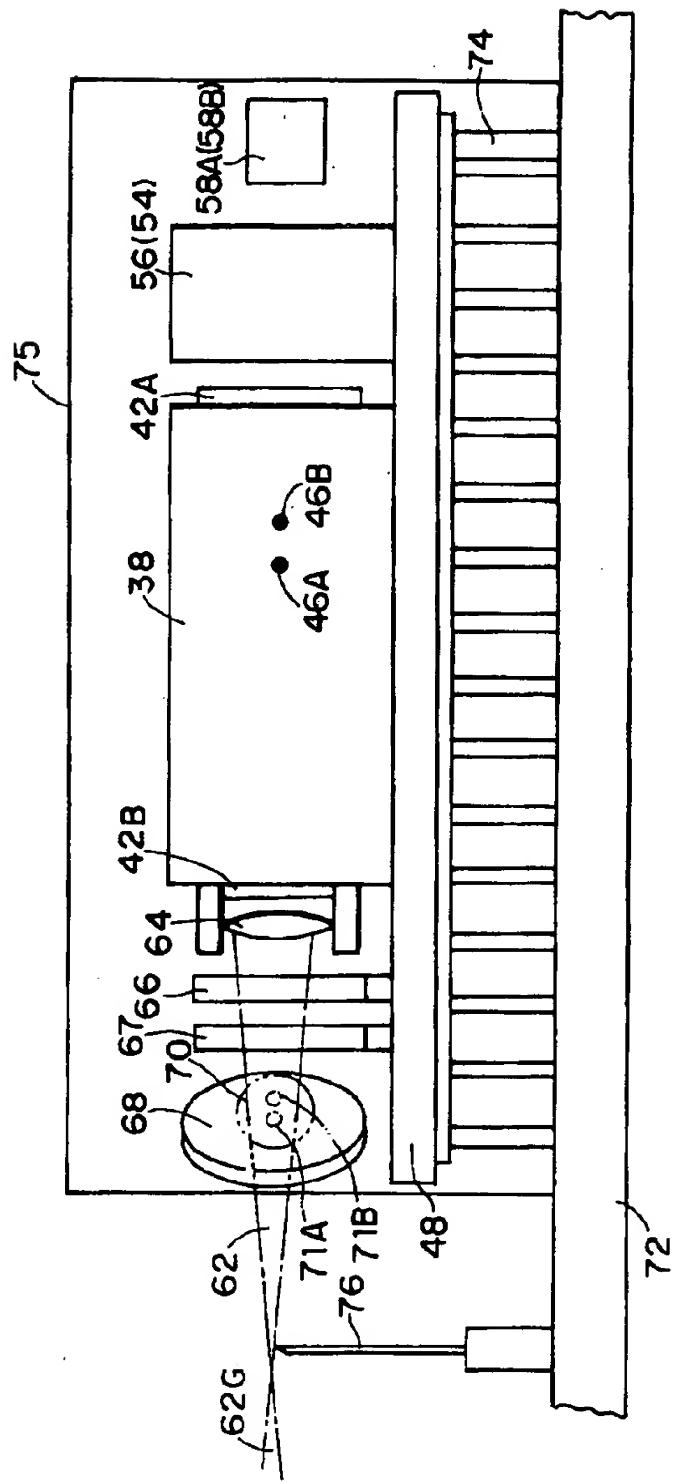
78 駆動回路

【書類名】 図面

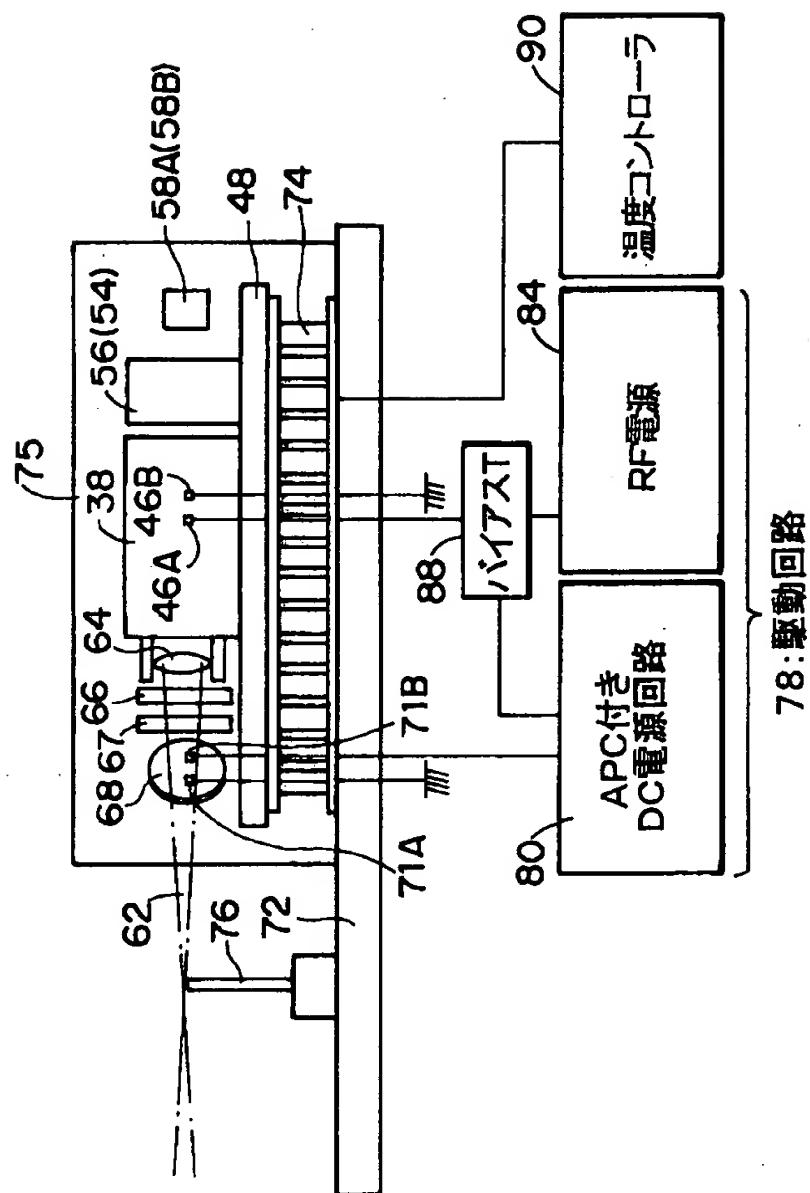
【図1】



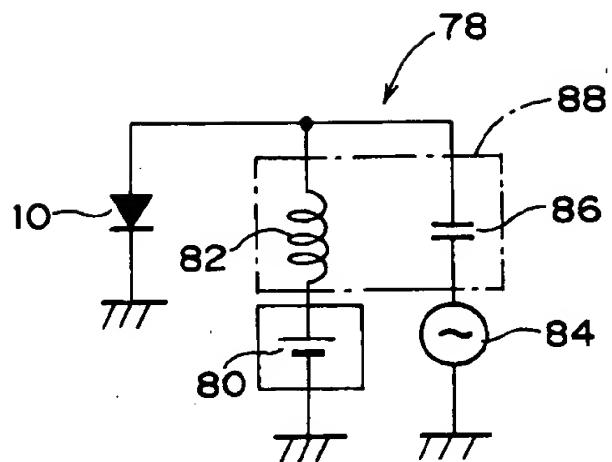
【図2】



【図3】



【図4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光波長変換素子とこの光波長変換素子に光結合された半導体レーザとを含んで構成した光波長変換モジュールにおいて、波長変換波の直交する2つの偏光成分の間に所定の光路差を与える波長板を配置する場合に、戻り光によるノイズの発生を防止して安定に波長変換波を得ることができる光波長変換モジュールを提供する。

【解決手段】 基本波34を出射する半導体レーザ10と、半導体レーザ10に光結合されると共に、半導体レーザ10から入射された基本波34を波長変換する光波長変換素子14と、を含んで光波長変換モジュールを構成し、光波長変換素子14の光出射側に波長板67を配置し、波長板67と光波長変換素子14との間に第2高調波62から基本波34を除去する除去手段としてIRカットフィルタ66を配置する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地
氏 名 富士写真フィルム株式会社